

**Rafał Konsek**  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

## BILANS ENERGETYCZNY GÓRNICZEJ LOKOMOTYWY AKUMULATOROWEJ LDA-12K-EMA

### ENERGY BALANCE OF Lda-12K-EMA MINE BATTERY LOCOMOTIVE

**Streszczenie:** Artykuł prezentuje wyniki symulacji komputerowych zużycia energii dla dwóch wariantów pracy lokomotywy górniczej typu Lda-12K-EMA: transport urobku oraz transport materiałów. Zużycie energii obliczono uwzględniając sprawność układu napędowego lokomotywy. Uzyskane wyniki umożliwiają oszacowanie czasu pracy lokomotywy od stanu pełnego naładowania baterii akumulatorów, aż do jej rozładowania.

**Abstract:** Computer simulations of energy consumption for two variants of operation of Lda-12K-EMA locomotive i.e. transportation of run-of-mine and transportation of people are presented. Energy consumption was calculated taking into account efficiency of the locomotive driving system. The results enable assessment of operational time of the locomotive from the state of full charged batteries to their discharge

**Słowa kluczowe:** lokomotywa akumulatorowa, napęd elektryczny

**Keywords:** locomotive, electric drive

### 1. Wprowadzenie

Współczesne górnicze lokomotywy akumulatorowe projektowane są na długi okres eksploatacji, a konstrukcja ich układów napędowych w wielu przypadkach umożliwia pewną uniwersalność podczas wykonywania zadań przewozowych. Istotnym czynnikiem, który decyduje o wyborze lokomotywy do realizowanego zadania jest siła pociągowa, która wiąże się z mocą zainstalowaną. W przypadku górniczych lokomotyw akumulatorowych czas pracy jest uzależniony od energii zgromadzonej w baterii akumulatorów.



Rys.1. Górnicza lokomotywa akumulatorowa Lda-12K-EMA

Podstawowym zagadnieniem dla projektantów pojazdów elektrycznych jest ocena czasu zużycia zmagazynowanej energii [3]. Przykładowo w badaniach homologacyjnych w Unii Europejskiej zużycie energii przez samochody elektryczne jest wyznaczane zgodnie z procedurą opisaną w Regulaminie EKG ONZ nr 101.

tryczne jest wyznaczane zgodnie z procedurą opisaną w Regulaminie EKG ONZ nr 101.

Tabela 1. Parametry techniczne układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA

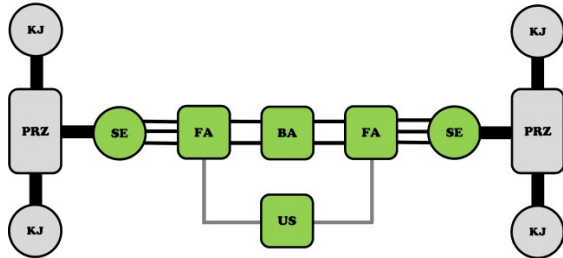
Prędkość jazdy	5m/s
Moc silników	2x19kW
Napięcie baterii akumulatorów	144V
Pojemność baterii akumulatorów	1000Ah

Samochody są badane na hamowni podwozowej w teście jezdnym NEDC, symulującym jazdę miejską i pozamiejską [4]. W celu oceny zużycia energii przez pozostałe pojazdy elektryczne wykonuje się badania w testach jezdnych, odpowiadającym różnym warunkom ruchu [1] [2] [5] [6] [7]. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki symulacji komputerowych zużycia energii górniczej lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA (rys.1) w warunkach odwzorowujących rzeczywisty transport urobku i transport materiałów.

### 2. Model górniczej lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA

Symulacje komputerowe zużycia energii przeprowadzono z wykorzystaniem programu Matlab/Simulink. W tym celu zbudowano model układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA, składający się z baterii akumulatorów kwasowo-ołowiowych o napięciu 144V i pojemności 1000Ah, dwóch falowników i z dwóch

innowacyjnych silników z magnesami trwałymi PMSM [8] [9]. Schemat blokowy układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA przedstawia rys.2.

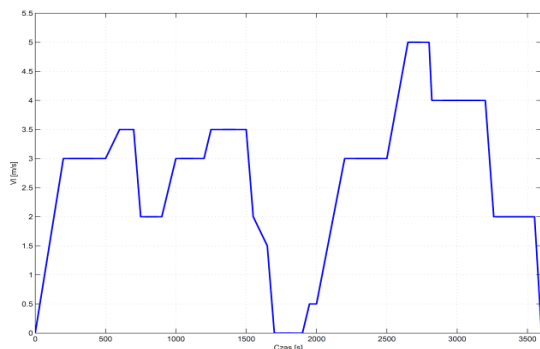


Rys. 2. Schemat blokowy układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA, US-układ sterowania, BA-bateria akumulatorów, FA – falownik, SE-silnik elektryczny, PRZ-przekładnia, KJ-koła jezdne

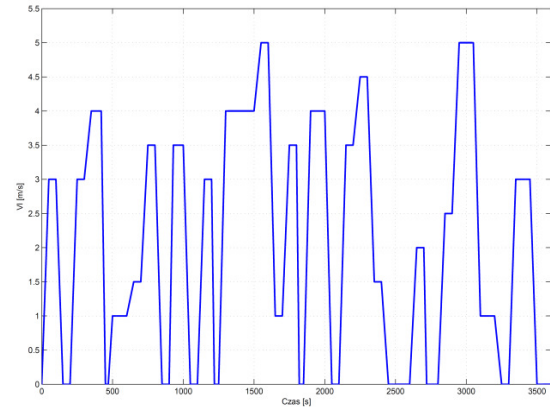
Podczas przeprowadzania symulacji zużycia energii uwzględniono sprawność układu napędowego, którą wyznaczono na podstawie badań stanowiskowych elektrycznego układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA w ramach projektu [9]. Wyznaczona sprawność wynosi 0,72.

### 3. Przejazdy symulacyjne

Zużycie energii przez lokomotywę akumulatorową Lda-12K-EMA przeprowadzono dla dwóch wariantów pracy. Pierwszy odwzorowywał transport urobku (rys.3), drugi – transport materiałów (rys.4). Lokomotywa transportowała 20 wozów kopalnianych o masie 3550kg każdy. Przyjęto, że poruszały się one po trasie o zerowym kącie nachylenia. W czasie symulacji komputerowych wyznaczano moc pobieraną z baterii akumulatorów, sumaryczną moc silników napędowych oraz stan naładowania baterii akumulatorów SOC (*ang. state of charge*). Czas każdego przejazdu wynosił godzinę.



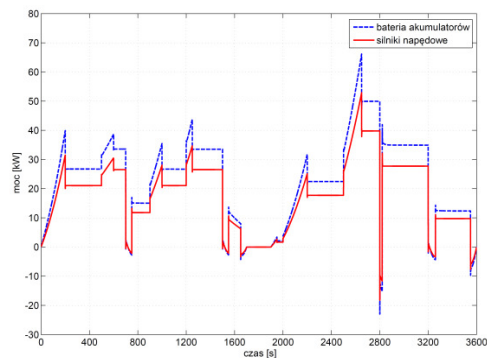
Rys. 3. Prędkość lokomotywy transportującej urobek



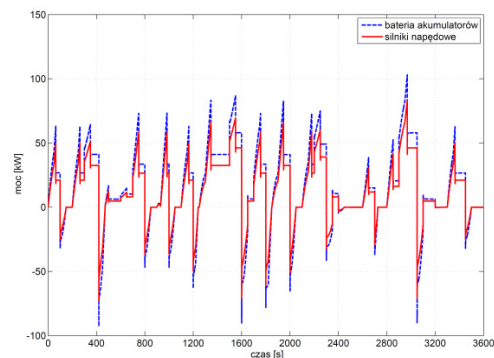
Rys. 4. Prędkość lokomotywy transportującej materiały

### 4. Wyniki z przeprowadzonych symulacji komputerowych

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono moc chwilową baterii akumulatorów i silników elektrycznych.



Rys. 5. Moc pobierana z baterii akumulatorów i silników elektrycznych lokomotywy transportującej urobek



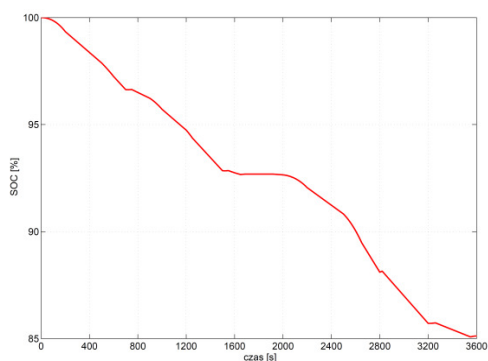
Rys. 6. Moc pobierana z baterii akumulatorów i silników elektrycznych lokomotywy transportującej materiały

Jazda lokomotywy transportującej materiały charakteryzuje się dużą dynamiką, mającą

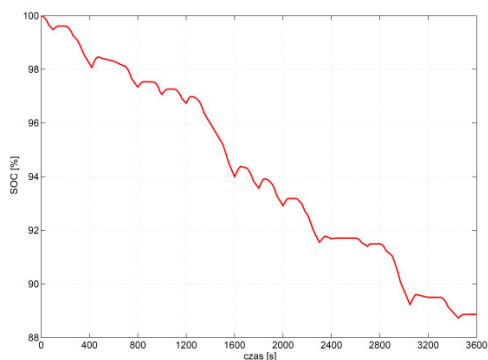
wpływ na rozplływ mocy w układzie napędowym. Wynika ona z częstego przyspieszania i hamowania. Lokomotywa transportująca urobek, która pokonuje dłuższe odcinki trasy w ruchu jednostajnym nie ma cech ww. dynamiki.

Na podstawie zarejestrowanej mocy pobieranej z baterii akumulatorów obliczono zużycie energii dla lokomotywy dla dwóch wariantów jazdy. Zużycia energii uwzględnia energię zwracaną do baterii podczas procesu hamowania rekuperacyjnego.

Podczas godzinowego przejazdu lokomotywy Lda-12K-EM zużycie energii wyniosło 72MJ dla transportu urobku i 54MJ podczas transportu materiałów. Spadek stanu naładowania baterii akumulatorów wynosił odpowiednio 15% (rys.7) i 11% (rys.8).



Rys. 7. Przebieg procentowego spadku stanu naładowania baterii akumulatorów lokomotywy transportującej urobek



Rys. 8. Przebieg procentowego spadku stanu naładowania baterii akumulatorów lokomotywy transportującej materiały

## 5. Podsumowanie

Symulacje komputerowe zużycia energii baterii akumulatorów lokomotywy pozwoliły oszacować czas jej pracy. Lokomotywa będąca w ciągłym ruchu przy maksymalnym obciążeniu (20 wozów kopalnianych) jest w stanie pracować

nieprzerwanie około 7 godzin. Jest to czas pracy jest wystarczający do wykonania zadań transportowych podczas jednej zmiany roboczej.

Całkowita zużyta energia jest jednak większa, za sprawą sprawności ładowania baterii akumulatorów. W najnowszych rozwiązaniach konstrukcyjnych sprawność ładowarek baterii akumulatorowych wynosi około 90%. Chcąc zatem obliczyć rzeczywisty koszt eksploatacji należy wziąć pod uwagę sprawność ogólną będącą iloczynem sprawności układu napędowego i sprawności ładowania akumulatorów.

## 6. Literatura

- [1]. Chłopek Z.: "Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny", *Archiwum motoryzacji*, nr 3/2012r.
- [2]. Chłopek Z., Lasocki J.: "Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w warunkach ruchu w mieście", *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, nr 1/2014r.
- [3]. Fice M., Setlak R.: "Analiza energetyczna rzeczywistych cykli jazdy", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 90/2011r.
- [4]. Krasucki F.: "Elektryfikacja podziemnych zakładów górniczych", *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 1998r.
- [5]. Kwaśnikowski J., Gramza G.: "Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 I ET22 ze składem towarowym", *Problemy Eksploatacji*, nr 2/2009r.
- [6]. Moćko W., Ornowski M., Szymańska M.: "Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w czasie testów drogowych", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 2/2013r.
- [7]. Pawar S., Wagh M., Shinde N.: "Development of energy balance of light weight electric vehicle in motion for energy conservation", *International Journal of Science and Research*, Nr 12/2015r.
- [8]. Polnik B., Konsek R.: "Badania symulacyjne i stanowiskowe silnika PMSM podczas hamowania elektrycznego z odzyskiem energii", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 1/2013r.
- [9]. Mechatroniczny układ napędowy do pojazdów szynowych przeznaczonych do pracy w atmosferze wybuchowej. Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju nr N R01 0009 06 w latach 2009-2012.

## Autorzy

mgr inż. Rafał Konsek  
e-mail: rkonsek@komag.eu  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG  
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice